

논문 2013-50-11-2

# 셀 경계 단말의 성능 향상을 위한 회전성 빔 방향 패턴의 활용

## (Utilization of Rotational Beam Direction Patterns for Performance Enhancement of Cell Boundary UEs)

이 동 현\*, 성 원 진\*\*

(Donghyun Lee and Wonjin Sung<sup>©</sup>)

### 요 약

셀룰러 이동통신 시스템의 용량과 커버리지를 향상시키기 위한 많은 연구 결과들이 시스템에 적용되었지만, 셀 경계에서의 심각한 성능 열화는 여전히 단말 전송률의 더 나은 향상을 가로막는 주요한 요인으로 남아있다. 3GPP (Third Generation Partnership Project)의 LTE-A (Long Term Evolution-Advanced) 표준에서는 협력적 전송 (CoMP, coordinated-multipoint transmission reception)과 ICIC (inter-cell interference coordination)와 같은 진보된 기술들이 셀 경계 성능 열화 문제를 해결하기 위해 소개되었다. 본 논문에서는 다수개의 빔 방향 패턴 (BDP, beam direction pattern)을 활용하여 셀 경계 단말들의 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 제안한다. 다수개의 빔 방향 패턴은 기지국에 설치된 복수 계층 안테나 어레이를 사용해 구현될 수 있다. 고정된 빔 패턴을 갖는 기존의 3섹터 안테나와 비교해서, 제안하는 방식은 다수개의 BDP들이 시간상에서 회전하면서 신호를 전송하게 된다. 이를 통해 셀 또는 섹터 경계에 위치하는 특정 단말들이 기지국으로부터 전체 전송 시간에 걸쳐 나쁜 성능의 신호를 수신하게 되는 상황을 억제함으로써, 해당 단말들의 수신 신호 품질을 향상시킬 수 있다. 성능 평가 결과는 제안하는 방식이 기존 3섹터 전송 방식에 비해 평균 단말 전송률 측면에서 하위 5% 단말에서 약 171% 향상된 성능을 나타냄을 보여준다.

### Abstract

Even though extensive research results have been applied to wireless cellular systems to improve their capacity and coverage, severe performance degradation experienced in cell boundary areas still remains as a major limiting factor to prohibit further improvement of user equipment (UE) throughput. In the Long Term Evolution-Advanced (LTE-A) standard of the Third Generation Partnership Project (3GPP), Some advanced techniques have been introduced to overcome this "cell-edge problem", including coordinated multipoint transmission and reception (CoMP) and inter-cell interference coordination (ICIC). In this paper, we propose yet another strategy to improve the performance of low-tier UEs by using the concept of multiple beam direction patterns (BDPs). Such multiple BDPs can be implemented using multi-layer antenna arrays stacked vertically at base station (BS) sites to transmit signals in different main beam directions. In comparison to conventional three-sector antennas with a fixed beam pattern, the proposed methods makes signal transmission in a rotational fashion to significantly enhance the reception quality of UEs located near sector (or cell) edge areas, preventing the situation where certain UEs are marginally covered by the BS for the whole transmission time. Performance evaluation results show that the proposed scheme outperforms the conventional three-sector transmission by 171% in low 5% UEs in terms of the UE throughput.

**Keywords** : 다중 사용자 MIMO, 안테나 빔 패턴, 반송파 결합, 이중 네트워크 시스템

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 서강대학교 전자공학과  
(Department of Electronic Engineering, Sogang University)

<sup>©</sup> Corresponding Author(E-mail: wsung@sogang.ac.kr)

※ 이 논문은 2013년도 한국연구재단의 중견연구자지원사업(2011-0016146)의 연구결과로 수행되었음.  
접수일자: 2013년7월26일, 수정완료일: 2013년11월1일

## I. 서 론

최근 다양한 모바일 데이터 서비스 및 응용 프로그램들에 대한 요구가 증가함에 따라, 모바일 데이터 트래픽이 급격하게 증가하고 있다. 2013년 Cisco에서 발표

한 Cisco Visual Networking Index에 따르면, 매달 발생하는 모바일 데이터 트래픽의 양은 2017년 경 11.2 엑사바이트에 다다를 것으로 예상되며 이는 2012년도의 약 13배에 이르는 수치이다.<sup>[1]</sup> 이를 지원하기 위해 주파수 효율성을 향상시키기 위한 방안, 주파수 대역을 확보하기 위한 방안 그리고 셀을 소형화 시키는 방안 등과 같이 다양한 측면에서 연구가 진행되고 있다. 특히 4세대 무선이동통신 시스템인 LTE-A에서는 협력적 전송과 반송파 결합 (CA, carrier aggregation) 등의 기술을 적용하여 시스템 용량을 증대시키기 위한 노력을 하고 있다.<sup>[2]</sup> 하지만 LTE-A에서도 여전히 커버리지와 시스템 용량의 증가를 제한하는 요인들이 존재한다.

본 논문에서는 셀룰러 이동통신에서 커버리지와 시스템 용량 측면에서 성능 향상을 억제시키는 대표 요인인 셀 간 간섭 (ICI, inter cell interference)에 대해서 다룬다. ICI는 특정 단말이 속해있는 기지국과 인접 기지국들이 동일한 주파수 대역을 사용하기 때문에, 인접 기지국들로부터의 신호가 간섭 신호로 작용하는 현상이다. 특히 셀 경계 지역에 위치하는 사용자들의 경우, 자신이 속한 기지국으로부터의 신호 세기와 인접 기지국들로부터의 간섭 신호 세기가 비슷해지므로 심각한 성능 열화 현상을 겪으며 이는 곧 시스템 전체 성능에 영향을 준다.<sup>[3~5]</sup>

셀 간 간섭 효과를 줄이기 위한 대표적인 방안으로 인접 셀 간 간섭 조정 (ICIC, ICI coordination)이 있다. ICIC의 기본 원리는 셀 간 경계지역에 기지국별로 서로 다른 주파수 자원을 할당하여 서로 간에 간섭 신호로 작용하는 상황을 피하게 하는 것이다.<sup>[6]</sup> 이를 위해 서비스에 사용하는 주파수 대역을 두 개 이상으로 나눠서 활용한다. 기지국 주변 중심부에서는 하나의 주파수 자원을 공통적으로 사용하며, 이때 신호 파워를 작게 하여 커버리지가 다른 기지국과 겹치지 않도록 한다. 나머지의 주파수 자원은 인접하는 셀들에게 서로 겹치지 않도록 배치하고, 신호 세기를 크게 한다. 결과적으로 셀 경계지역에서 같은 주파수 대역으로부터의 간섭 신호는 매우 작아지므로 셀 경계의 단말들도 일정 수준의 성능을 보장받을 수 있다.

빔포밍 기술들을 활용해 셀 간 간섭을 억제하는 방안들 또한 활발히 연구되어 왔다. 복수개의 안테나 어레이를 활용하는 빔포밍 기술은 방향성 빔포밍과 다중 사용자 다중 입출력 (MU-MIMO, multi user multiple

input, multiple output) 빔포밍으로 나뉜다.<sup>[7~8]</sup> 방향성 빔포밍 기술은 빔의 방향을 특정 방향으로 바꿔줌으로써 동일 채널 간섭 (CCI, co-channel interference)의 양을 감소시킬 수 있으며, MU-MIMO 빔포밍은 공간 다중화 (spatial multiplexing)를 통해 데이터 스루풋 (throughput)을 증가시킬 수 있다. MU-MIMO 빔포밍의 경우, 일반적으로 높은 수준의 채널 상태 정보 (channel state information)가 요구되며 이를 위한 피드백 오버헤드가 필요하다.

본 논문에서는 이종 네트워크 시스템 (HetNet, heterogeneous network) 시스템에서 빔 방향 패턴을 활용한 셀 경계 단말들의 성능 개선 방안을 제안한다. 매크로 기지국에 서로 다른 빔 패턴 방향을 갖는 안테나 어레이를 계층적으로 설치함으로써 다수개의 방향성 빔포밍이 가능해진다. 다수개의 방향성 빔포밍을 시간상으로 분리하여 활용하면 특정 단말이 지속적으로 셀 또는 섹터 경계에 위치하게 되는 상황을 막을 수 있다. 이와 더불어 셀 경계 지역에 추가적인 원격 송신국 (RRH, remote radio head)들의 설치를 통해 셀 내 분포하고 있는 단말들의 평균적인 수신 신호 품질을 향상시키는 것을 목표로 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 시스템 모델과 신호 모델을 정리하며, III장에서는 복수 계층 안테나 어레이와 시간상에서 빔 패턴을 회전시키는 방식의 개념을 소개한다. IV장에서는 다수개의 반송파를 활용할 수 있는 환경에서의 제안 방식 적용 방안을 설명한다. 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 구체적인 가정 및 변수들에 대한 설명과 성능 평가와 분석이 V장에 포함되며, VI장에서 결론을 맺는다.

## II. 신호 및 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1과 같이 매크로 기지국과 RRH들로 구성된 HetNet 셀룰러 시스템을 고려한다. 각각의 매크로 기지국은 3섹터의 방향성 송신 안테나 어레이를 가지고 있으며, 안테나로부터 방사되는 빔 패턴의 주로브 (lobe) 중심 방향인 보어사이트를 대시 화살표로 표시하였다. 셀은 하나의 매크로 기지국을 중심으로 하는 3섹터의 육각형 커버리지를 의미하며, 각 섹터의 경계는 회색 선 그리고 각 셀의 경계는 검은색 두꺼운 실선으로 나타내었다. 인접한 두 매크로 기지국 사이의 거리를  $2d_M$ 으로 놓음으로써,  $d_M$ 은 셀의 반경을 나타

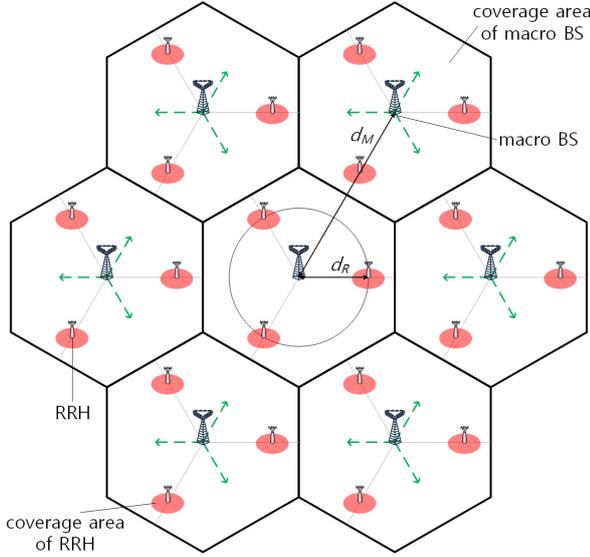


그림 1. 7셀 21섹터 셀룰러 시스템 모델  
Fig. 1. A cellular system model with 7 cells and 21 sectors.

낸다. 각각의 셀에는 3개의 RRH들이 매크로 기지국으로부터  $d_R$ 만큼 떨어진 곳에 위치한다. 본 논문에서는 전방향성 안테나 패턴을 갖고, 매크로 기지국에 비해 작은 송신 파워를 갖는 RRH를 고려한다. 그림 1에서 RRH들의 주변에 빨간색 원으로 커버리지를 표시하였다. 매크로 기지국들과 RRH들은 광섬유로 연결되어 있으며, 둘 사이의 데이터 송수신에서 발생하는 시간 지연은 무시할 수 있는 수준이다.

기존의 3섹터 시스템에서 매크로 기지국은 수평과 수직 빔 패턴이 모두 고려된 방향성 안테나를 사용하였으며, 수평 빔 패턴은

$$A_H(\phi) = -\min\left[12\left(\frac{\phi}{\phi_{3dB}}\right)^2, A_m\right] \quad (1)$$

이며 수직 빔 패턴은

$$A_V(\theta) = -\min\left[12\left(\frac{\theta - \theta_{etilt}}{\theta_{3dB}}\right)^2, SLA_v\right] \quad (2)$$

로 구해진다.<sup>[9]</sup>  $[-180^\circ, 180^\circ]$ 의 범위를 갖는  $\phi$ 는 기지국의 보어사이트로부터의 방위각을 나타내며,  $[-90^\circ, 90^\circ]$ 의 범위를 갖는  $\theta$ 는  $xy$ 평면으로부터 떨어진 각을 나타낸다.  $\phi_{3dB}$ ,  $\theta_{3dB}$ 는  $3dB$  빔폭을 의미하며 각각  $70^\circ$ ,  $10^\circ$ 로 주어진다. 또한  $A_m$ ,  $SLA_v$ 는 최대 감쇠를 의

미하며 각각  $25dB$ ,  $20dB$ 로 주어진다.  $\theta_{etilt}$ 는 안테나의 아래로 기울어진 정도를 나타낸다. 3D 안테나 패턴은 수식 (1), (2)에서 얻어진 수평, 수직 빔 패턴을 결합한 형태로써 다음과 같이 구해진다.

$$A(\phi, \theta) = -\min[-[A_H(\phi) + A_V(\theta)], A_m] \quad (3)$$

3D 안테나 패턴과 적용된 변수들은 [9]의 표 A.2.1.1-2 3GPP Case 1을 참고하였다. 모든 RRH들은 전방향성 안테나 장치를 포함하고 있으므로 수직 빔 패턴만 적용하였다.

$i$ 번째 전송 노드의 안테나 수를  $M_i$ , 송신 파워를  $P_i$ 라 하며,  $j$ 번째 셀에 속한 전송 노드들의 인덱스의 집합을  $A_j$ , 모든 전송 노드들의 인덱스의 집합을  $C$ 로 놓으면  $k$ 번째 단말의 수신 신호를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_k = \sum_{i \in C} \sqrt{P_i s_{k,i}} h_{k,i}^H x_i + z_k \quad (4)$$

여기서  $s_{k,i}$ 는 large scale 페이딩,  $h_{k,i}$ 는 small scale 페이딩을 나타낸다. 송신 신호 벡터를  $x_i$ 로 표시하며, 평균을 0, 분산을  $\sigma_0^2$ 으로 갖는 복소 가우시안 잡음을  $z_k$ 로 표시하였다. Large scale 페이딩에는 경로 감쇄, 쉐도잉 그리고 안테나 빔 패턴이 포함되며, [9]의 표 B.1.2.1-1의 non line-of-site 시나리오를 참고하였다.  $k$ 번째 단말이 속한 셀의 인덱스를  $n$ 으로 놓으면, 수식 (4)는

$$y_k = \sum_{i \in A_n} \sqrt{P_i s_{k,i}} h_{k,i}^H x_i + \sum_{j \neq n, j \in A} \sum_{i \in A_j} \sqrt{P_i s_{k,i}} h_{k,i}^H x_i + z_k \quad (5)$$

와 같이 표현될 수 있다. 이때,  $k$ 번째 단말의 신호 대 잡음 및 간섭비(SINR, signal-to-interference plus noise ratio)는 다음과 같다.

$$\gamma_k(n) = \frac{\left| \sum_{i \in A_n} \sqrt{P_i s_{k,i}} h_{k,i}^H x_{i,k} \right|^2}{I_{k,\in} + I_{k,\text{out}} + \sigma_0^2} \quad (6)$$

수식 (6)의 3개의 항으로 이루어져 있으며,  $I_{k,\text{in}}$ 은 셀 내 간섭으로

$$I_{k,\in} = \sum_{m \in S_n, i \in A_n, m \neq k} \left| \sum_{i \in A_n} \sqrt{P_i s_{k,i}} h_{k,i}^H x_{i,m} \right|^2 \quad (7)$$

와 같이 표현된다.  $S_n$ 은  $n$ 번째 셀에서 스케줄된 단말들의 집합을 나타낸다.  $I_{k,out}$ 은 셀 간 간섭으로

$$I_{k,out} = E \left| \sum_{j \neq ni \in A_j} \sqrt{P_i s_{k,i}} h_{k,i}^H x_i \right|^2 \quad (8)$$

와 같이 표현되며, 마지막 항인  $\sigma_0^2$ 은  $z_k$ 의 평균 파워를 나타낸다.<sup>[10~11]</sup>

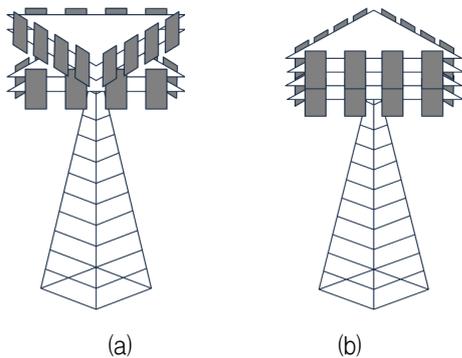
### 2-1. 단일 단말 실험 모델

단일 단말 실험 모델에서는 RRH가 설치되지 않은 7셀 셀룰러 시스템 환경을 고려하며, 중심 매크로 기지국은  $xy$ 평면의 원점에 위치하고 있다고 가정한다. 단일 단말이 중심 셀의( $n=1$ ) 매크로 기지국으로부터 반경  $r$  만큼 떨어진 위치에  $\theta$ 의 각도로 발생하며, 해당 위치에서의 SINR이 계산된다. 단말의 지리적 위치에 따른 성능을 분석하기 위해, 위 과정은  $\theta$ 를  $1^\circ$ 씩 바뀌가면서 그리고  $r$ 을 변경해가면서 반복된다. 이 실험에서 단일 단말의 수신 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$y = \sum_{i \in A_i} \sqrt{P_i s_i} h_i^H x_i + \sum_{j \neq 1, i \in A_j} \sqrt{P_i s_i} h_i^H x_i + z \quad (9)$$

이때, SINR은 아래와 같이 계산된다.

$$\gamma = \frac{\left| \sum_{i \in A_1} \sqrt{P_i s_i} h_i^H x_i \right|^2}{E \left| \sum_{j \neq 1, i \in A_1} \sqrt{P_i s_i} h_i^H x_i \right|^2} + \sigma_0^2 \quad (10)$$



(a) 뒤틀린 BDP를 갖는 복수 계층 안테나  
(a) Multi-layer antenna for two skewed BDPs  
(b) 동일한 BDP를 갖는 복수 계층 안테나  
(b) Multi-layer antenna for two identical BDPs

그림 2. 복수 계층 안테나  
Fig. 2. Multi-layer antenna.

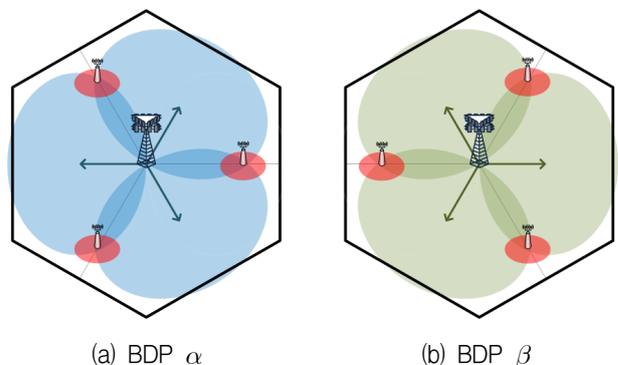
### 2-2. 다수 단말 실험 모델

다수 단말 실험 모델에서는 셀 경계지역에 RRH들이 설치된 7셀 셀룰러 시스템 환경을 고려하며, 각 섹터에 30개의 단말을 균일하게 생성시킨다. 이때  $k$ 번째 단말의 수신 신호는 수식 (5)와 같이 표현되며, 해당 단말의 SINR은 수식 (6)을 통해 계산된다.

## III. 복수개의 빔 방향 패턴

본 논문에서 고려하는 3섹터 시스템에서 각 매크로 기지국의 보어사이트는  $120^\circ$  간격의 각도 차를 갖는다. 수식 (1)을 통해 3섹터 안테나 방위 패턴의 3dB 빔폭은  $70^\circ$ 이며 6dB 빔폭은  $100^\circ$ 라는 것을 알 수 있다. 따라서 각 섹터의 보어사이트로부터 약  $50^\circ$  이상 벗어나는 곳에 위치하는 단말은 매우 낮은 안테나 이득을 얻게 된다. 단말이 각 섹터의 보어사이트로부터 크게 벗어나 섹터 또는 셀의 경계에 가까워지면, 인접 섹터와 셀로부터의 간섭이 커지므로 수신 신호의 품질은 점점 떨어질 것이다.

본 논문에서는 셀 경계에 위치하는 단말들의 성능을 개선하기 위한 방안으로 그림 2와 같은 복수 계층 안테나 어레이 구조를 제안한다. 제안하는 복수 계층 안테나 어레이들은 그림 2(a)와 같이  $60^\circ$ 로 뒤틀린 형태와 그림 2(b)와 같이 같은 방위각을 갖는 형태 모두 가능하다. 각각의 레이어는 독립적인 BDP를 갖게 되며, 이와 같은 복수 계층 안테나 어레이를 활용하여 다양한 형태의 BDP 운용 패턴을 적용할 수 있다. 그림 2(a)와 같은 형태의 안테나에 의한 서로 다른 두 개의 BDP를 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)의 BDP는 각각  $60^\circ$ ,



(a) BDP  $\alpha$   
(b) BDP  $\beta$   
그림 3. 섹터 커버리지  
Fig. 3. Sector coverage.

180° 그리고 300°의 보어사이트 각도를 갖으며, BDP  $\alpha$  로 정의하였다. 동일한 안테나의 다른 계층에서 발생하는 빔 패턴을 BDP  $\beta$ 로 정의하고 그림 3(b)에 나타냈으며, 0°, 120° 그리고 240°의 보어사이트 각도를 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 신호 전송 시, 하나의 고정된 BDP만 사용될 수 있으며 또는 두 BDP가 서로 다른 시간 간격을 가지고 바뀌가면서 사용될 수도 있다.

서로 다른 BDP를 시분할 방식으로 사용함으로써, 섹터 경계 또한 시간에 따라 바뀌게 되며 결과적으로 어떤 단말도 지속적으로 섹터 경계에 위치하지 않는 효과를 얻을 수 있다. 기존의 3섹터 시스템에서는 단일 BDP를 사용하기 때문에, 매크로 기지국의 평균 수평 빔 패턴은 수식 (1)과 같이 주어진다. 반면 그림 3에 나타난 BDP들을 같은 시간 간격으로 바꿔주게 되면

$$A_H(\phi) = \begin{cases} -\min\left[6\left(\frac{\phi}{\phi_{3dB}}\right)^2 + \left(\frac{\phi-60}{\phi_{3dB}}\right)^2\right], A_m, \phi \in [0^\circ, 60^\circ] \\ -\min\left[6\left(\frac{\phi}{\phi_{3dB}}\right)^2 + \left(\frac{\phi+60}{\phi_{3dB}}\right)^2\right], A_m, \phi \in [-60^\circ, 0^\circ] \end{cases} \quad (11)$$

와 같은 평균 수평 빔 패턴을 갖게 된다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 시간상에서 복수개의 BDP를 바꿔주는 것을 통해 방위각 측면에서 안테나 이득의 균형을 맞춰줄 수 있다. 따라서 제안 방식을 통해 지리적으로 섹터 경계에 위치한 단말들은 향상된 SINR을 제공받을 수 있게 된다. 또한 셀 경계에 설치된 RRH들을 통해 셀 경계에 위치한 단말들 역시 향상된 SINR을 제공받을 수 있다.

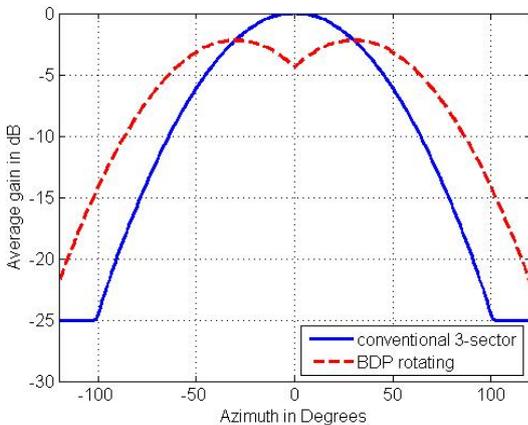


그림 4. 방위각 패턴 비교  
Fig. 4. Comparison of azimuth patterns.

#### IV. 다수 요소 반송파 시스템으로의 확장

복수개의 BDP를 이용하여 신호를 전송하는 방안은 다수개의 요소 반송파 (CC, component carrier)를 사용하여 신호를 전송하는 반송파 결합과 같은 기술에도 적용될 수 있다. 그림 5는 두 개의 요소반송파가 적용된 세 종류의 빔 패턴을 보여준다. 그림 2(b)와 같이 동일한 BDP를 갖는 두 계층적 안테나 어레이의 커버리지를 그림 5(a), (b)에 나타내었다. 이 경우에 두 BDP는 겹쳐진 형태가 되며, 단말들은 하나의 요소반송파 또는 두 개의 요소반송파를 통해 신호를 전송받을 수 있게 되지만, 섹터 경계에 위치하는 단말들은 여전히 간섭의 영향을 강하게 받는다. 그림 5(c)는 그림 2(a)와 같이 60°의 각도로 뒤틀린 BDP를 갖는 두 계층적 안테나 어레이의 커버리지를 보여준다. 이 경우에는 단말의 지리적 위치에 관계없이 하나의 요소반송파 또는 두 개의 요소 반송파를 통해 향상된 신호 송수신이 가능해진다.

다수개의 요소 반송파를 사용하는 환경에서의 실험을 위해 CC1, CC2로 표현되는 두 요소반송파를 사용하

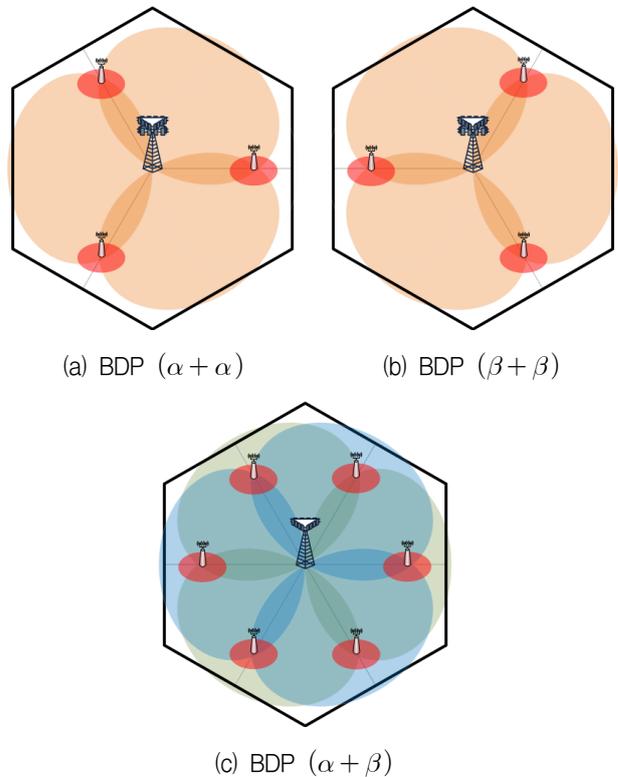


그림 5. 두 개의 요소반송파에 대한 빔 방향 패턴  
Fig. 5. Beam direction patterns for two component carriers.

표 1. 반송파 결합 전송 시나리오

Table 1. Scenarios for carrier-aggregated transmission.

요소 반송파	홀수 서프프레임	짝수 서프프레임
기존 3섹터 방식		
CC1	BDP $\alpha$	BDP $\alpha$
CC2	BDP $\alpha$	BDP $\alpha$
반송파 결합 방식1		
CC1	BDP $\alpha$	BDP $\alpha$
CC2	BDP $\beta$	BDP $\beta$
반송파 결합 방식2		
CC1	BDP $\alpha$	BDP $\beta$
CC2	BDP $\alpha$	BDP $\beta$

표 2. 실험 파라미터

Table 2. Simulation parameters.

파라미터	값
높이	25m
위치	$D_M = 500\text{m}$
매크로 송신 파워	46 dBm
기지국 안테나 이득	14 dBi
3dB 빔폭	$B_N = 70^\circ, B_V = 10^\circ$
송신 안테나 수	4
높이	10m
위치	$D_R = 210\text{m}$
RRH 송신 파워	30 dBm
RRH 안테나 이득	5 dBi
3dB 빔폭	omni, $B_V = 10^\circ$
RRH 송신 안테나 수	2
단말 높이	1.5m
단말 수신 안테나 수	1
채널 매크로 셀	UMa NLOS [9]
채널 웨도우 페이딩	6 dB std. dev.
채널 소형 셀	UMi NLOS [9]
채널 웨도우 페이딩	4 dB std. dev.
중심 주파수	2 GHz

며, 표 1에 나타난 바와 같이 세 가지 시나리오에 대해 실험하였다. 먼저 기존의 3섹터 시스템에서 두 개의 요소반송파 모두 단일 BDP (BDP  $\alpha$ )만을 사용해 신호가 전송되며 전송 시간동안 BDP는 바뀌지 않는다. 반송파 결합 방식 1에서는 BDP  $\alpha$ 는 CC1을 통해 BDP  $\beta$ 는 CC2를 통해 독립적으로 신호를 전송하며, 전송 시간동안 두 요소반송파에 할당된 BDP는 변하지 않는다. 반송파 결합 방식 2의 경우, 두 개의 요소반송파 모두 동일한 BDP를 시간상에서 바뀌가면서 사용하여 신호를 전송한다.

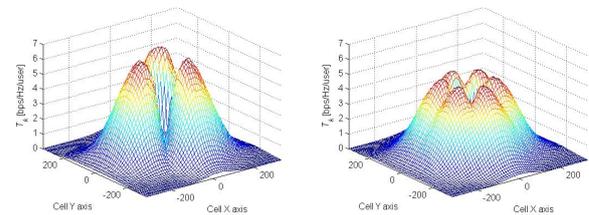
## V. 성능 평가

성능 평가를 위해 사용한 시스템 레벨 시뮬레이션의 전체적인 수행 과정은 [12]를 참고하였으며, 실험에 사용한 구체적인 변수들은 표 2에 나타내었다. 단일 단말 실험 모델에서는  $\theta$ 와  $r$ 에 따른 각각의 지리적 위치에서의 전송률을 주요 성능 지표로 활용하여 제안한 방식이 단말의 지리적 위치에 따른 성능에 어떠한 영향을 미치는지 확인한다. 다수 단말 실험 모델에서는 각 단말의 수신 SINR을 수식 (6)을 통해 계산하고, 이를 바탕으로 다음과 같은 Shannon capacity 공식

$$R_k = \log_2(1 + \gamma_k(n_k)) \quad (12)$$

을 활용하여 순간 전송률을 계산한다. 수식 (12)에서  $\gamma_k(n_k)$ 는  $n$ 번째 셀 안에 존재하는  $k$ 번째 단말의 SINR을 의미한다. 스케줄링 과정에서는 가중합 전송률을 최대로 만드는 순차적 단말 선택 알고리즘을 적용하였다.<sup>[13][14]</sup> 이 때 단말의 가중치는 비례 공정 스케줄링을 고려하여 평균 전송률에 반비례하도록 구현하였다.

그림 6(a)와 6(b)는 기존의 방식과 제안된 방식에서의 평균 단말 전송률을 3차원 등고선 형태로 보여준다. 기존의 3섹터 시스템에서는 각 섹터 안테나의 보어사이트 근처에서는 높은 평균 전송률이 나타나는 반면, 섹터 경계에서는 상당히 낮은 평균 전송률이 나타난다는 것을 그림 6(a)를 통해 확인할 수 있다. 제안된 방식에서는 섹터 경계 근처에서의 평균 전송률이 상승한 것을 확인할 수 있으며, 지리적 위치에 관계없이 균형적인 전송률을 보임을 알 수 있다.



(a) 기존의 3섹터 방식 (a) Conventional 3-sector  
(b) 제안한 BDP 회전 방식 (b) Proposed rotating BDP scheme

그림 6. 단말 위치에 따른 전송률

Fig. 6. Location-specific UE throughput.

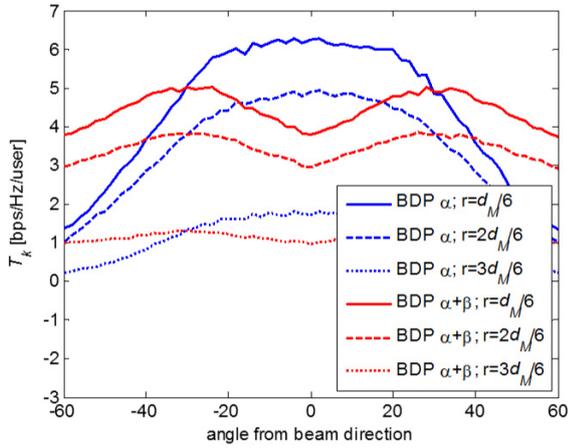
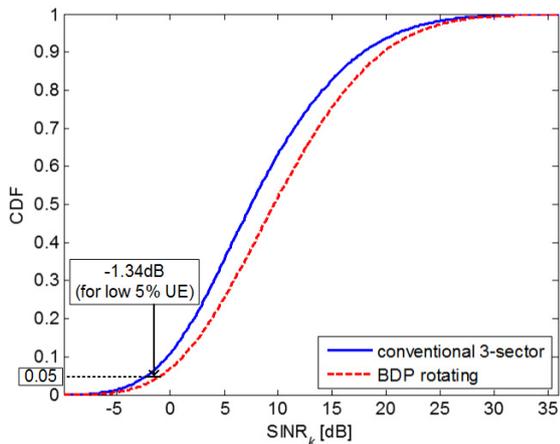
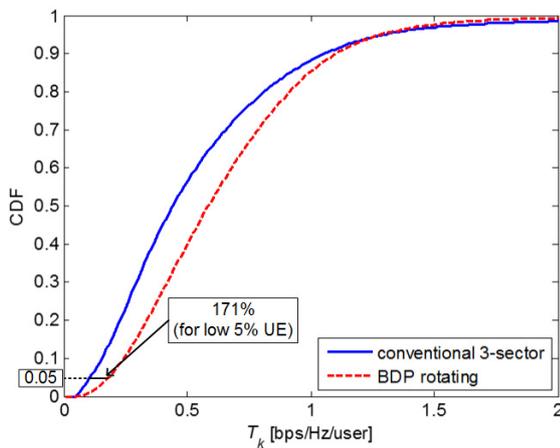


그림 7. 단말 위치(각도)에 따른 전송률  
Fig. 7. Angle-specific UE throughput.



(a) SINR



(b) UE throughput

그림 8. 단일 요소 반송파를 활용한 전송 시 성능  
Fig. 8. Performance of the single carrier transmission.

그림 7은 단일 단말 실험 모델에서의 각도에 따른 평균 전송률을 보여준다. 매크로 기지국으로부터 떨어진 거리인  $r$ 에 따라 조금씩 달라지기는 하지만, 그림 7에 나타난 결과는 그림 4의 결과와 매우 유사한 경향을 나타낸다. 단일 단말 실험 모델에서 단말의 SINR은 수식 (10)로 주어진다. 매크로 기지국으로부터 같은 거리만큼 떨어진 단말들만을 고려하면, 수식 (10)에서 분모항의 기댓값은 다음과 같이 상수로 근사 시킬 수 있다.

$$E\left[\sum_{j \neq i} \sum_{l \in A_1} \sqrt{P_i s_i} h_i^H x_{il}\right]^2 \cong c_0 \quad (13)$$

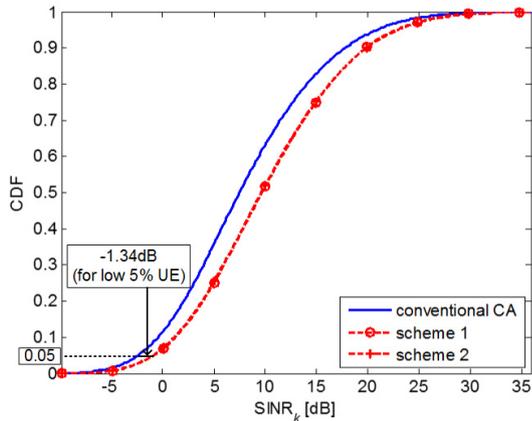
여기서  $c_0$ 는 임의의 상수를 의미한다. 이를 수식 (10)에 적용하면

$$E|\gamma| = \frac{P_0 s_i}{c_0 + \sigma_0^2} \quad (14)$$

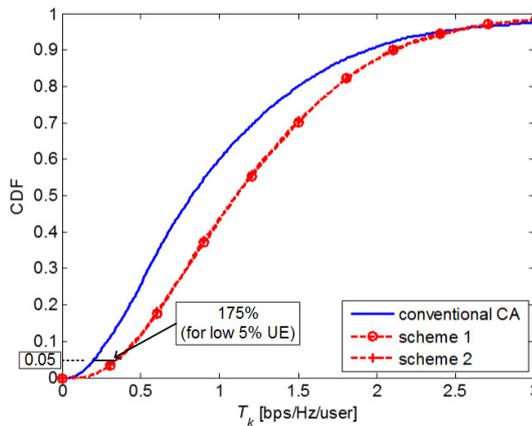
와 같이 나타낼 수 있으며, 여기서  $P_0$ 는 매크로 기지국의 송신 전력을 의미한다.  $P_0$ ,  $c_0$  그리고  $\sigma_0^2$ 의 값은 매크로 기지국으로부터 같은 거리만큼 떨어진 단말들에서 모두 동일하며,  $s_i$ 를 이루는 안테나 이득 성분만이 단말의 각도에 따른 영향을 받는다. 따라서 단일 단말 실험 모델에서 단말의 지리적 위치 (보어사이트 대비 각도)에서 오는 안테나 이득이 SINR과 평균 전송률을 결정하는 주요 요소라는 것을 확인할 수 있다.

그림 8에는 SINR과 평균 전송률 측면에서 기존 3섹터 방식과 제안된 방식의 성능을 비교하여 나타내었다. 그림 8(a)를 통해 제안된 방식을 활용하여 신호를 전송함으로써 단말의 SINR이 향상됨을 확인할 수 있으며, 하위 5% 사용자의 SINR은  $-2.19\text{dB}$ 로부터  $-0.85\text{dB}$ 로  $-1.34\text{dB}$  상승한 것을 알 수 있다. 그림 8(b)로부터 하위 5% 사용자의 평균 단말 전송률 측면에서는 기존 3섹터 방식 대비 약 171%의 이득이 생김을 확인할 수 있다. 위 두 결과를 바탕으로 복수개의 BDP를 시간상에서 바꿔가면서 신호를 전송하는 방식이 평균 SINR과 전송률을 향상시켜주며, 특히 셀 경계에 위치하는 하위 단말들에게서 뛰어난 성능을 보여준다.

그림 9에는 기존 3섹터 방식과 제안된 두 종류의 반송파 결합 방식들을 SINR과 평균 전송률 측면에서 비교하여 나타내었다. 그림 9의 두 그래프를 통해 두 종류의 반송파 결합 방식은 SINR과 평균 전송률 모두에



(a) SINR



(b) UE throughput

그림 9. 두 개의 요소 반송파를 활용한 전송 시 성능  
Fig. 9. Performance of two-carriers carrier transmission.

서 거의 동일한 성능을 보임을 확인할 수 있다. 또한 그림 9로부터 서로 다른 보어사이트 각도를 갖는 복수개의 BDP를 활용해 신호를 전송하는 것은 복수개의 요소 반송파를 사용하는 반송파 결합에도 효과적으로 적용됨을 알 수 있다. 그림 9(a)의 SINR 분포는 그림 8(a)의 분포와 매우 유사한 결과를 보여주고 있는데, 이는 각 단말의 순간 SINR은 추가적인 요소 반송파의 적용을 통해 증가하지 않는다는 것을 보여준다. 그림 9(b)로부터 제안한 반송파 결합 방식들이 기존 방식 대비 평균 단말 전송률 측면에서 하위 5% 단말에 대해 약 175% 성능 이득을 보여줌을 확인할 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 셀룰러 이동통신 시스템의 셀 경계의 단말이 받는 인접 셀 간섭에 의한 성능 열화를 극복하기 위해 복수 계층 안테나 어레이를 통한 다수개의 BDP를 활용하는 신호 전송 방안과 반송파 결합 환경에서 적용 가능한 신호 전송 방식을 제안하였다. 실험을 통한 성능 평가는 서로 다른 보어사이트 각도를 갖는 다수개의 BDP들을 활용하는 전송 방식이 SINR과 평균 단말 전송률 측면에서 성능 향상을 만들어 낸다는 것을 보여주었다. 또한 제안한 방식이 다수개의 요소 반송파를 활용하는 반송파 결합 전송에도 효과적으로 융합될 수 있음을 확인하였다. 다수개의 BDP들은 시간 축에서의 회전뿐만 아니라 주파수 축에서 나누어져 적용되는 방식으로 OFDMA와 같은 기술과 융합될 수 있으며, 대규모 MIMO 시스템에서 활용할 수 있는 다양한 계층 구조의 안테나 어레이에 대한 연구로 확장될 수 있다.

## REFERENCES

- [1] Cisco VNI Forecast, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile data Traffic Forecast Update 2012 - 2017," *Cisco Public Information*, Feb. 2013.
- [2] S. Sesia, I. Toufik, and M. Baker, *LTE-The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice, 2nd ed.* Chichester, U.K.: Wiley, 2011.
- [3] E. Dahlman, S. Parkvall, and J. Skold, *4G: LTE / LTE-Advanced for Mobile Broadband.* Academic Press, Apr. 2011.
- [4] G.X. You, D. Wang, P. Zhu, and B. Sheng, "Cell edge performance of cellular mobile systems," *IEEE J. Selected Areas in Commun*, vol. 29, no. 6, pp. 1139 - 1150 June 2011.
- [5] M. Rahman and H. Yanikomeroglu, "Enhancing cell-edge performance: A downlink dynamic interference avoidance scheme with inter-cell coordination," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 4, pp. 1414 - 1425, Apr. 2010.
- [6] E. Pateromichelakis, M. Shariat, A. Quaddus, and R. Tafazolli, "On the Evolution of Multi-Cell Scheduling in 3GPP LTE / LTE-A," *IEEE Communication Surveys and Tutorials*, vol. 15, No. 2, pp. 701 - 717, 2013.
- [7] A. Goldsmith, *Wireless Communications.*

- Cambridge University Press, 2005.
- [8] D. Gesbert, M. Kountouris, R. W. Heath Jr, C. B. Chae, and T. Salzer, "Shifting the MIMO paradigm," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 24, no. 5, pp. 36 - 46, Oct. 2007.
- [9] 3GPP TR 36.814, v9.0.0, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release 9)*, Mar. 2010.
- [10] J. Kim, S. Shin, J. Sung, D. Lee, and W. Sung, "Inter-cell interference mitigation using the moving coverage boundary of cellular systems employing remote radio heads," in *Proc. Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 1120 - 1125, Sept. 2012.
- [11] Hyung-gil Yoo, Wonjin Sung, "A Base Station Clustering Method Based on Sequential Selection Approach," *The Institute of Electronics of Korea - Telecommunications*, Vol.48-TC No.9 , pp. 1-9, Sept. 2011.
- [12] M. Series, *Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced*, ITU, Tech. Rep., 2009.
- [13] P. Viswanath, D. N. C. Tse, and R. Laroia, "Opportunistic beamforming using dumb antennas," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 48, no. 6, pp. 1277 - 1294, June 2002.
- [14] I.-M. Kim, S.-C Hong, S. S. Ghassemzadeh, and V. Tarokh "Opportunistic beamforming based on multiple weighting vectors," *IEEE Trans Wireless Commun*, vol. 4, no. 11, pp. 2683 - 2687, Nov. 2005.

---

 저 자 소 개
 

---



이 동 현(학생회원)  
 2012년 서강대학교  
 전자공학과 학사  
 2012년 ~ 현재 서강대학교  
 전자공학과 석사과정

<주관심분야 : 안테나 빔포밍, MU-MIMO, LTE-Advanced, 인지 무선 통신>



성 원 진(평생회원)  
 1990년 서울대학교  
 전자공학과 학사  
 1992년 University of Michigan  
 EECS 석사  
 1995년 University of Michigan  
 EECS 박사

1996년 1월~2000년 8월 Hughes Network  
 Systems 책임 연구원

2000년 9월~현재 서강대학교 전자공학과 교수  
 <주관심분야 : 이동무선통신, MIMO>